

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sifat-Sifat Baja Struktural

Mempelajari sifat-sifat baja merupakan keharusan apabila seseorang akan menggunakan baja sebagai pilihan untuk suatu bagian struktur. Sifat mekanis yang sangat penting pada baja dapat diperoleh dari pengujian tarik baja. Pengujian ini dilakukan dengan pembebanan tarik pada sampel uji baja. Pengambilan bahan, bentuk dan ukuran sampel untuk pengujian ini berdasarkan suatu peraturan tertentu, misalnya PPBBI (Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia), ASTM ("American Society for Testing & Materials"), BS449 ("British Standard 449") dan sebagainya. Pengujian dapat dilakukan memakai UTM ("Universal Testing Machine"), dengan mesin ini sampel uji baja ditarik dengan gaya yang berubah-ubah dari nol diperbesar sedikit demi sedikit sampai batang putus. Pada saat sampel uji tersebut ditarik, besar gaya atau tegangan dan perubahan panjang batang atau regangan dimonitor, kemudian hasil monitoring ini disajikan dalam bentuk diagram tegangan-regangan lewat "plotter" (Padosbajayo, 1994).

Pada gambar diagram tersebut, sumbu mendatar menyatakan regangan ( $\epsilon$ ) dan sumbu tegak menyatakan tegangan ( $\sigma$ ), yang dapat dihitung dengan menggunakan :

$$\epsilon = \frac{\rho \ell}{\ell} \quad \text{dan} \quad \sigma = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

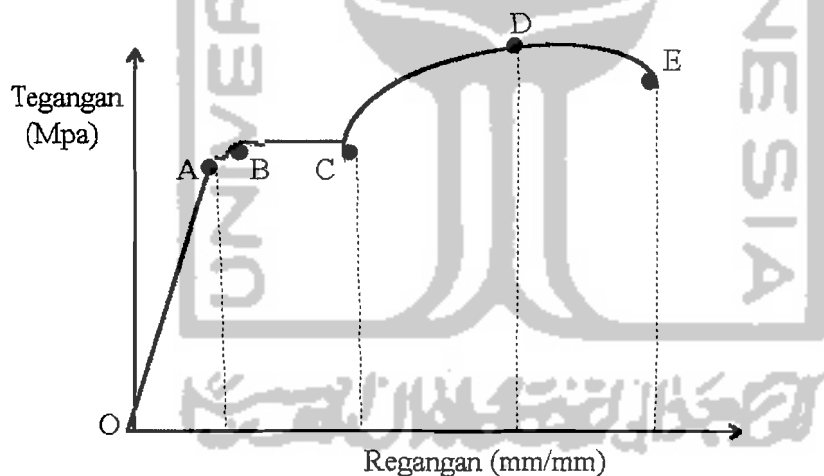
dengan,

$\rho \ell$  = perpanjangan atau perubahan panjang benda uji (mm)

$\ell$  = panjang semula sebelum dibebani (mm)

$P$  = beban tarik (N)

$A$  = luas penampang melintang benda uji ( $\text{mm}^2$ )



Gambar 2.1 Diagram tegangan-regangan baja struktural

Suatu diagram tegangan-regangan normal yang tipikal dapat dilihat pada gambar 2.1. Tampak bahwa hubungan antara tegangan-regangan pada OA linier, sedang di atas A diagram tidak linier lagi, sehingga titik A disebut sebagai batas harga sebanding ("proportional limit"). Tegangan yang terjadi di titik A disebut

tegangan batas sebanding ( $\sigma_p$ ). Sedikit di atas A terdapat titik batas elastis bahan dengan tegangan pada tempat itu disebut tegangan batas elastis bahan ( $\sigma_e$ ). Hal ini berarti bahwa batang baja yang dibebani sedemikian dan tegangan yang timbul tidak melampaui  $\sigma_e$ , panjangnya akan kembali ke panjang semula jika beban dihilangkan. Pada umumnya tegangan  $\sigma_p$  dan  $\sigma_e$  relatif cukup dekat, sehingga seringkali kedua tegangan tersebut dianggap sama, yaitu sebesar  $\sigma_e$ .

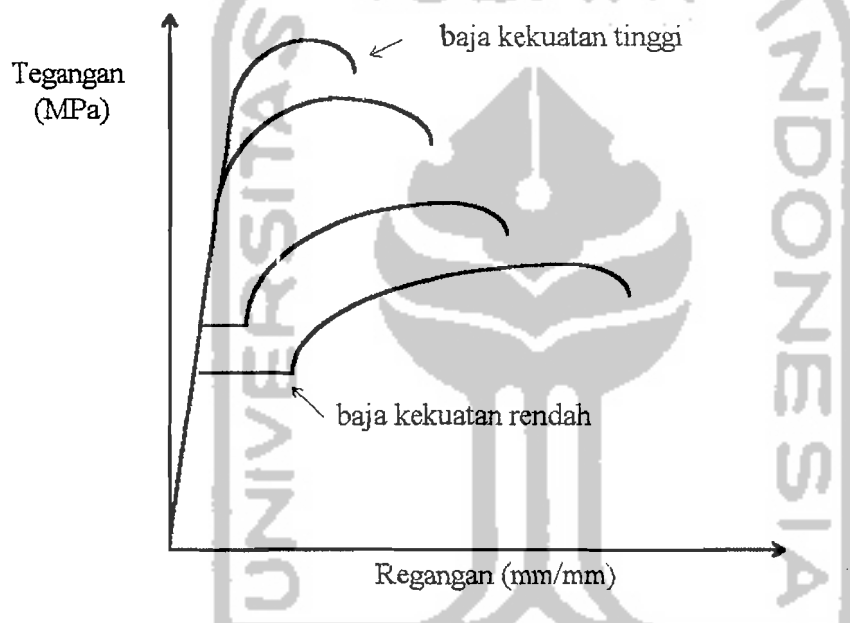
Di atas tegangan elastis ( $\sigma_e$ ), pada titik B baja mulai leleh. Tegangan di titik B disebut sebagai tegangan leleh ( $\sigma_l$ ). Menurut PPBBI, apabila titik lelehnya tidak jelas, maka tegangan leleh tersebut didefinisikan sebagai tegangan yang menyebabkan regangan tetap sebesar 0,2 %. Pada saat leleh ini, seperti terlihat pada gambar 2.1, baja masih mampu menghasilkan gaya perlawanan. Bentuk kurva pada bagian leleh ini, mula-mula mendekati datar, berarti tidak ada tambahan tegangan walaupun regangan bertambah. Hal ini berakhir di titik C pada saat mulai terjadi pengerasan regangan ("strain hardening"), kemudian kurva naik lagi ke atas sampai dicapai kuat tarik ("tensile strength") di titik D. Setelah itu kurva turun dan sample uji retak ("fracture") di titik E. Besarnya tegangan pada titik-titik A, B, C, D dan E tersebut dipengaruhi oleh jenis dan mutu baja yang diuji.

ASTM ("American Society for Testing & Materials") membagi baja dalam empat kelompok berdasarkan harga tegangan leleh sebagai berikut :

1. "Carbon steels", tegangan leleh antara 210 sampai 280 MPa.
2. "High-strength low-alloy steels", tegangan leleh antara 280 sampai 490 MPa.

3. "Heat treated carbon and high-strength low alloy steels", tegangan leleh antara 322 sampai 700 MPa.
4. "Heat-treated constructional alloy steels", tegangan leleh antara 630 sampai 700 MPa.

Diagram tegangan-regangan yang tipikal untuk berbagai baja dari berbagai mutu diperlihatkan dengan gambar 2.2 di bawah ini :



Gambar 2.2 Diagram tegangan-regangan tipikal berbagai baja struktural

Dari berbagai diagram tegangan-regangan tersebut, tampak bahwa harga modulus elastisitas  $E$  (modulus Young) yang besarnya merupakan konstanta proporsional antara tegangan dan regangan, tidak dipengaruhi oleh besar tegangan lelehnya. PPBBI menentukan nilai  $E$  baja sebesar  $2,1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$ . Selain itu, dapat diketahui bahwa semakin tinggi tegangan leleh baja semakin kecil regangan putusnya. Hal ini memperlihatkan semakin tinggi tegangan leleh baja, maka bahan baja tersebut semakin getas.

Selain diagram tegangan-regangan di atas, dapat juga dibuat suatu diagram tegangan-regangan geser. Untuk keperluan ini diperlukan pengujian bahan terhadap gaya geser. Diagram tegangan-regangan geser ini secara umum menunjukkan kenampakan yang serupa dengan diagram-tegangan normal, hanya kemiringan diagram pada bagian garis lurus adalah modulus geser  $G$ . Berdasarkan teori elastisitas, dengan menggunakan angka Poisson ( $\mu$ ), hubungan antara modulus geser  $G$  dan modulus elastisitas  $E$  adalah sebagai berikut :

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \quad (2.2)$$

dengan,

$G$  = modulus geser

$E$  = modulus elastisitas

$\mu$  = angka Poisson

Secara teoritis untuk baja struktural, tegangan leleh akibat geser adalah 1/3 kali tegangan leleh akibat tarik, sedangkan angka Poisson adalah 0,30. Dengan bantuan persamaan 2.2, PPBBI menentukan modulus geser  $G$  sebesar  $0,81 \times 10^6$  Kg/cm<sup>2</sup>. Menurut PPBBI, baja struktural berdasarkan kekuatannya dapat dibedakan atas beberapa jenis seperti terlihat pada tabel 2.1 di bawah ini. Dalam perencanaan secara elastis, tegangan ijin pada baja dikaitkan dengan tegangan dasar. Tegangan dasar diambil sebesar tegangan leleh dibagi faktor keamanan, yaitu 1,5. Dengan dasar itu diharapkan tegangan yang terjadi pada struktur tidak akan melampaui tegangan batas elastis, sehingga batang struktur selalu kembali ke bentuk asal pada saat tidak ada pembebanan.

Tabel 2.1 Tegangan leleh dan tegangan dasar berdasarkan PPBBI

Macam Baja	Tegangan Leleh ( $\sigma_l$ )		Teganga Dasar ( $\sigma$ )	
	Kg/cm <sup>2</sup>	MPa	Kg/cm <sup>2</sup>	Mpa
Bj 34	2100	210	1400	140
Bj 37	2400	240	1600	160
Bj 41	2500	250	1666	166,6
Bj 44	2800	280	1867	186,7
Bj 50	2900	290	1933	193,3
Bj 52	3600	360	2400	240

1 MPa = 10 Kg/cm<sup>2</sup>

Harga-harga yang tercantum pada tabel 2.1 di atas adalah untuk elemen-elemen yang tebalnya kurang dari 40 mm. Untuk elemen-elemen yang tebalnya lebih dari 40 mm, tetapi kurang dari 100 mm, harga-harga pada tabel 2.1 harus dikurangi 10 %.

Tegangan normal yang diijinkan untuk pembebanan tetap, besarnya sama dengan tegangan dasar ( $\sigma$ ), sedangkan tegangan geser untuk pembebanan tetap sebesar 0,58 kali tegangan dasar ( $0,58 \sigma$ ).

## 2.2 Sambungan dan Alat Sambung

Sambungan pada konstruksi baja berfungsi terutama untuk meneruskan beban dari suatu batang ke batang lain yang bertemu, dan menjadikan batang-batang tersebut terikat satu sama lain pada suatu titik buhul. Suatu sambungan harus direncanakan agar memenuhi syarat keamanan, mudah dalam pelaksanaan, baik pada saat pabrikasi maupun pemasangan di lapangan dan ekonomis. Jenis sambungan pada konstruksi baja dapat diklasifikasikan menurut

alat-alat sambung yang digunakan, kekakuan dari sambungan dan gaya-gaya yang dipindahkan melalui sambungan konstruksi (Bowles, 1985).

Penggolongan sambungan menurut jenis alat sambungnya dibedakan atas :

1. sambungan dengan paku keling,
2. sambungan dengan baut,
3. sambungan dengan las.

Jenis baut yang digunakan dalam sambungan dibedakan atas baut biasa atau baut hitam dan baut mutu tinggi. Karena dalam pembatasan masalah yang akan dibahas hanya sambungan baut dan las, maka untuk selanjutnya sambungan dengan paku keling tidak akan dibahas.

Berdasarkan kekakuannya, sambungan pada konstruksi baja dibedakan atas :

1. Sambungan tegar / kaku, yaitu sambungan yang mengembangkan kapasitas momen secara penuh dari bagian konstruksi yang bertemu dan yang mempertahankan sudut yang relatif konstan diantara bagian-bagian yang disambung di bawah setiap rotasi sambungan.
2. Sambungan sederhana, sambungan ini berhubungan sendi sehingga apabila mengalami beban gravitasi ujung-ujung balok atau girder hanya diperhitungkan secara geser saja.
3. Sambungan semikaku / semitegar, pada sambungan ini kapasitas momen yang dipindahkan kurang daripada kapasitas momen penuh dari bagian-bagian konstruksi yang disambungkan, kekakuan sambungan yang terjadi ada diantara jenis 1 dan 2.

Sedangkan menurut gaya-gaya yang bekerja, maka sambungan konstruksi baja dapat dibedakan atas sambungan yang menahan :

1. gaya geser,
2. gaya geser dan momen,
3. gaya tarik /desak,
4. kombinasi gaya tarik dan geser.

### 2.3 Alat Sambung Baut

Alat sambung baut yang akan dibahas meliputi baut biasa dan baut mutu tinggi. Baut biasa terbuat dari baja karbon rendah dan merupakan jenis baut yang paling murah. Akan tetapi sambungan dengan menggunakan baut biasa ini membutuhkan jumlah baut yang cukup banyak, sehingga sambungan yang dihasilkan belum tentu yang paling murah. Baut biasa ini diidentifikasi sebagai ASTM A-307 dengan diameter berkisar dari  $\frac{1}{4}$  inci (6 mm) sampai 4 inci (102 mm). Baut mutu tinggi dibuat dari baja karbon sedang yang diberi perlakuan panas dengan pencelupan dan kemudian dipanasi kembali sampai suhu paling rendah 800 °F. Baut ini mudah dikenali karena ada identifikasi ASTM dan simbol pabrik yang dituliskan di puncak kepala baut. Dua jenis baut kekuatan (mutu) tinggi diidentifikasi oleh ASTM sebagai A-325 dan A-490, dengan diameter sebesar  $\frac{1}{2}$  inci (12,7 mm) sampai  $1\frac{1}{2}$  inci (38,1 mm). Baut mutu tinggi tipe A-325 mempunyai kandungan karbon dalam bahannya maksimum 0,30 %, sedangkan baut mutu tinggi tipe A-490 mempunyai kandungan karbon dalam bahannya sampai



0,53 % (Salmon dan Johnson, 1986). Kekuatan dari masing-masing baut diperlihatkan pada tabel 2.2 berikut ini.

Tabel 2.2 Tegangan pada berbagai jenis baut

Mutu Baut	Diameter Baut	Tegangan Tarik Ultimit ( $\sigma_u$ )	Tegangan Leleh ( $\sigma_l$ )
A - 307 (Baja Mutu Bj - 37)	¼ - 4 (inci)		34,8 (Ksi) 240 (Mpa) 2400 (Kg/cm <sup>2</sup> )
A - 325	½ - 1 (inci)	120 (Ksi) 825 (Mpa) 8250 (Kg/cm <sup>2</sup> )	92 (Ksi) 635 (Mpa) 6350 (Kg/cm <sup>2</sup> )
A - 325	11/8 - 1 ½ (inci)	105 (Ksi) 725 (Mpa) 7250 (Kg/cm <sup>2</sup> )	81 (Ksi) 560 (Mpa) 5600 (Kg/cm <sup>2</sup> )
A - 490	½ - 1 ½ (inci)	150 (Ksi) 1035 (Mpa) 10350 (Kg/cm <sup>2</sup> )	130 (Ksi) 895 (Mpa) 8950 (Kg/cm <sup>2</sup> )

$$\text{Tegangan dasar ijin } \bar{\sigma} = \frac{\sigma_l}{1,5}$$

#### 2.4 Alat Sambung Las

Pengelasan adalah penyambungan potongan-potongan logam dengan memanaskan titik-titik sentuh hingga mencapai keadaan cair atau hampir cair dengan atau tanpa pemakaian tekanan. Sampai saat ini, terdapat lebih dari 50 macam proses pengelasan yang dapat digunakan untuk menyambung berbagai logam. Salmon dan Johnson (1986), menyebutkan bahwa dari bermacam-macam proses pengelasan yang tersedia, yang sering digunakan untuk sambungan struktur baja adalah berikut ini :

1. Proses pengelasan busur nyala logam terlindung atau SMAW ("Shielded Metal Arc Welding"), proses ini sangat sederhana tetapi hasilnya paling baik untuk pengelasan baja struktural. Proses SMAW sering disebut proses elektroda tongkat manual. Pemanasan dilakukan dengan busur listrik menyala antara elektroda yang dilapis sebagai logam pengisi dan bahan yang akan disambung. Logam elektroda (kawat las) akan habis karena dipindahkan ke bahan dasar selama proses pengelasan, sedangkan lapisannya sebagian dikonversi menjadi gas pelindung, sebagian menjadi terak (slag) dan sebagian lagi diserap oleh logam las. Bahan pelapis elektroda adalah campuran seperti lempung yang terdiri dari pengikat silikat dan bahan bubuk, seperti senyawa flour, karbonat, oksida, paduan logam dan selulosa. Campuran ini ditekan dan dipanasi hingga diperoleh lapisan konsentris kering yang keras. Bahan elektroda dan sifat-sifatnya diklasifikasikan oleh AWS ("American Welding Society") yang dapat dilihat pada tabel 2.4. Identifikasi seperti E60XX atau E70XX, masing-masing menunjukkan kekuatan tariknya 60 dan 70 Ksi. Huruf XX menyatakan faktor-faktor posisi pengelasan yang sesuai dan sumber arus listrik yang disarankan. Sedangkan bahan pelapis elektroda mempunyai fungsi untuk :
  - a. menghasilkan gas pelindung untuk mencegah masuknya udara dan membuat busur stabil,
  - b. memberikan bahan lain, seperti unsur pengurai oksida, untuk memperhalus struktur butiran pada logam las,

- c. menghasilkan lapisan terak di atas logam yang mencair dan memadatkan las untuk melindungi dari oksigen dan nitrogen dalam udara, serta memperlambat pendinginan.
2. Proses pengelasan busur nyala terbenam atau SAW ("Submerged Arc Welding"), pada proses ini busurnya tidak terlihat karena tertutup oleh lapisan bahan granular yang dapat melebur. Elektroda logam yang terbuka akan habis karena ditimbun sebagai bahan pengisi. Ujung elektroda terus terlindung oleh cairan fluks yang berada di bawah lapisan fluks granular yang tidak melebur. Fluks yang merupakan ciri khas dari metode ini, memberikan penutup sehingga pengelasan tidak menimbulkan kotoran, percikan api atau asap. Hasil pengelasan dengan proses SAW memiliki mutu serta kekuatan kejut yang tinggi dan merata, kerapatan yang tinggi dan tahan karat yang baik. Sifat mekanis las ini sama baiknya seperti bahan dasar. Identifikasi seperti F6X-EXX atau F7X-EXX menyatakan kombinasi kawat elektroda terbuka dan fluks granular yang ditunjukkan oleh huruf F, kemudian dua angka di belakangnya menunjukkan kuat tarik dan syarat kekuatan kejut bagi las yang dihasilkan, serta diikuti huruf EXXX yang membedakan elektrodanya. Bahan elektroda dan sifat-sifatnya diklasifikasikan oleh AWS ("American Welding Society") yang dapat dilihat pada tabel 2.4 untuk proses SAW.
3. Proses pengelasan busur nyala logam gas atau GMAW ("Gas Metal Arc Welding"), pada proses ini elektrodanya adalah kawat menerus dari gulungan yang disalurkan melalui pemegang elektroda. Perlindungan dihasilkan

seluruhnya dari gas atau campuran gas yang berasal dari luar. Gas pelindung yang dihasilkan selain berfungsi untuk melindungi logam yang meleleh dari atmosfer juga berfungsi untuk :

- a. mempengaruhi penetrasi, lebar peleburan dan bentuk daerah las,
  - b. mempengaruhi kecepatan pengelasan,
  - c. mengontrol peleburan berlebihan.
4. Proses pengelasan busur nyala berinti fluks atau FCAW ("Flux Cored Arc Welding"), proses ini sama dengan GMAW tetapi elektroda logam pengisi yang menerus berbentuk turbular ( seperti pipa) dan mengandung bahan fluks dalam intinya. Bahan inti ini sama fungsinya seperti lapisan pada SMAW atau fluks granular pada SAW.
5. Proses pengelasan terak listrik atau ESW ("Electro Slag Welding"), merupakan proses mesin yang digunakan terutama untuk pengelasan dalam posisi vertikal. Proses ini biasanya dipakai untuk memperoleh las lintasan tunggal (satu kali jalan) seperti untuk sambungan pada penampang kolom yang besar. Karena terak padat tidak konduktif, maka busur nyala diperlukan untuk mengawali proses pengelasan dengan mencairkan terak dan memanaskan plat. Setelah terak menjadi cair dan bersifat konduktif maka digunakan untuk melindungi las serta mencairkan bahan pengisi dan tepi plat.

Tabel 2.3 Elektroda untuk pengelasan

Proses SMAW	Proses SAW	Tegangan leleh ( $\sigma_l$ )		Kuat tarik ultimit ( $\sigma_u$ )	
		(ksi)	(Mpa)	(Ksi)	(Mpa)
E60XX		50	345	67	460
	F6X-EXXX	50	345	62-80	425-550
E70XX		57	395	70	485
	F7X-EXXX	60	415	70-95	485-655
E80XX		67	460	72	495
	F8X-EXXX	68	470	80-100	550-690
E100XX		87	600	100	690

## 2.5 Sambungan Las

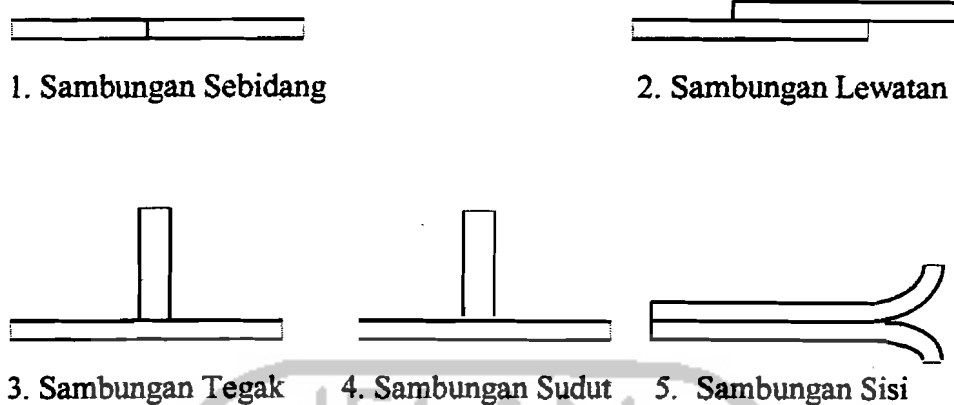
Sambungan las terdiri dari lima jenis dasar dengan berbagai macam variasi dan kombinasi yang banyak jumlahnya. Salmon dan Johnson (1986) menyebutkan kelima jenis dasar sambungan las tersebut adalah :

1. Sambungan sebidang, yaitu sambungan yang dipakai terutama untuk menyambung ujung-ujung plat datar dengan ketebalan yang sama atau hampir sama. Keuntungan utama jenis ini adalah menghilangkan eksentrisitas yang timbul pada sambungan lewatan tunggal. Kerugiannya adalah ujung yang akan disambung biasanya harus dipersiapkan secara khusus (diratakan atau dimiringkan) dan dipertemukan secara hati-hati sebelum dilas. Hasil yang memuaskan akan diperoleh apabila sambungan sebidang dibuat di bengkel sehingga dapat mengontrol proses pengelasan dengan akurat.
2. Sambungan lewatan, merupakan jenis yang paling umum. Sambungan ini mempunyai beberapa keuntungan, yaitu :
  - a. Mudah disesuaikan, hal ini disebabkan karena potongan yang akan disambung tidak memerlukan ketepatan dalam pembuatannya bila

dibanding dengan jenis sambungan lain. Potongan tersebut dapat digeser untuk menghilangkan kesalahan kecil dalam pembuatan atau untuk penyesuaian panjang.

- b. Mudah disambung, tepi potongan yang akan disambung tidak memerlukan persiapan khusus, sehingga pemotongan dapat dilakukan dengan nyala api atau geseran. Sambungan lewatan menggunakan las sudut sehingga sesuai untuk pengelasan di bengkel maupun di lapangan.
  - c. Mudah digunakan untuk menyambung plat yang tebalnya berlainan.
3. Sambungan tegak, sambungan ini digunakan untuk membuat penampang bentukan seperti profil T, Profil I, gelagar plat (plat girder) dan lain sebagainya. Umumnya potongan yang disambung membentuk sudut tegak lurus. Sambungan ini bermanfaat dalam pembuatan penampang yang dibentuk dari plat datar yang disambung dengan las sudut maupun las tumpul.
  4. Sambungan sudut, sambungan ini digunakan terutama untuk membuat penampang berbentuk boks segi empat seperti yang digunakan untuk kolom dan balok yang memikul momen puntir yang besar.
  5. Sambungan sisi, umumnya tidak struktural tetapi sambungan ini yang sering digunakan untuk menjaga agar dua atau lebih plat tetap pada bidang tertentu atau untuk mempertahankan kesejajaran awal.

Jenis-jenis sambungan las tersebut untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut ini.



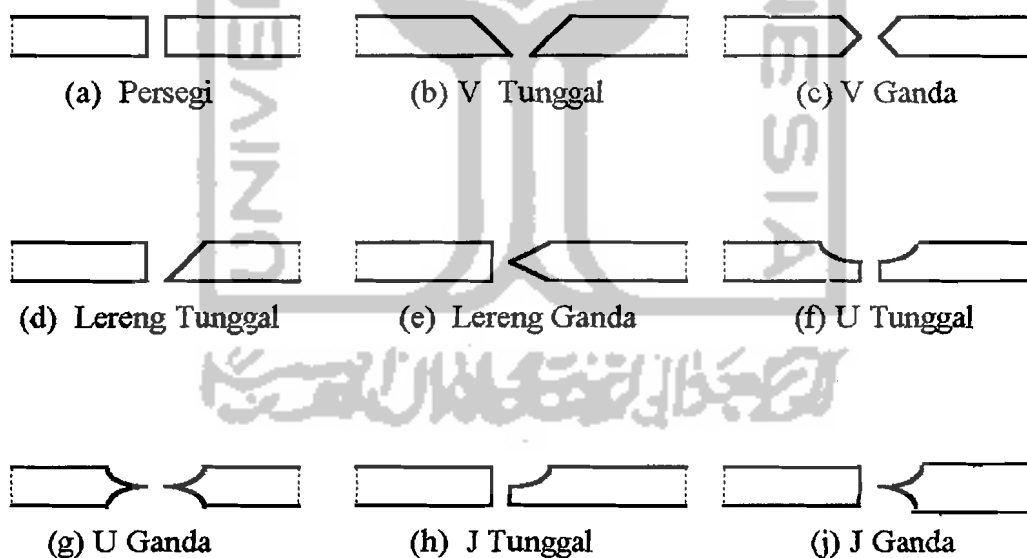
Gambar 2.3 Jenis-jenis sambungan las

### 2.5.1 Jenis las

Ada empat jenis las yang umum digunakan dalam struktur baja, yaitu las tumpul, las sudut, las baji (slot) dan las pasak (plug). Setiap jenis las memiliki keuntungan dan perhitungan tersendiri dalam pemakaiannya. Secara kasar, prosentasi pemakaian empat jenis tersebut dalam struktur baja adalah sebagai berikut : las sudut 80%, las tumpul 15%, dan sisanya 5% terdiri dari las baji, las pasak dan las khusus lainnya (Salmon dan Johnson, 1986) .

1. Las tumpul ("groove weld"), terutama digunakan untuk menyambung batang struktural yang bertemu dalam satu bidang. Karena las tumpul biasanya ditujukan untuk menyalurkan semua beban batang yang disambungnya, maka elektroda yang dipergunakan untuk menyambung harus mempunyai kekuatan paling sedikit sama dengan logam yang disambungkan. Las tumpul yang diberikan sepanjang ketebalan potongan yang disambung disebut las tumpul penetrasi penuh, dimana pada perhitungan kekuatannya cukup diperiksa

kekuatan profilnya saja. Bila sambungan direncanakan sedemikian rupa hingga las tumpul tidak diberikan sepanjang ketebalan potongan yang disambung, maka las ini disebut las tumpul penetrasi sebagian. Pada penyambungan dengan tegangan yang direncanakan cukup rendah dan tidak dituntut pencapaian kekuatan bahan yang seutuhnya, maka las tumpul penetrasi sebagian masih bisa dipergunakan. Las tumpul banyak variasinya, masing-masing variasi umumnya memerlukan persiapan tepi tertentu dan semuanya dibedakan menurut jenis persiapan tepi yang dilakukan. Pemilihan variasi las tumpul yang sesuai tergantung pada proses pengelasan yang digunakan dan biaya persiapan tepi. Jenis-jenis las tumpul diperlihatkan pada gambar di bawah ini :

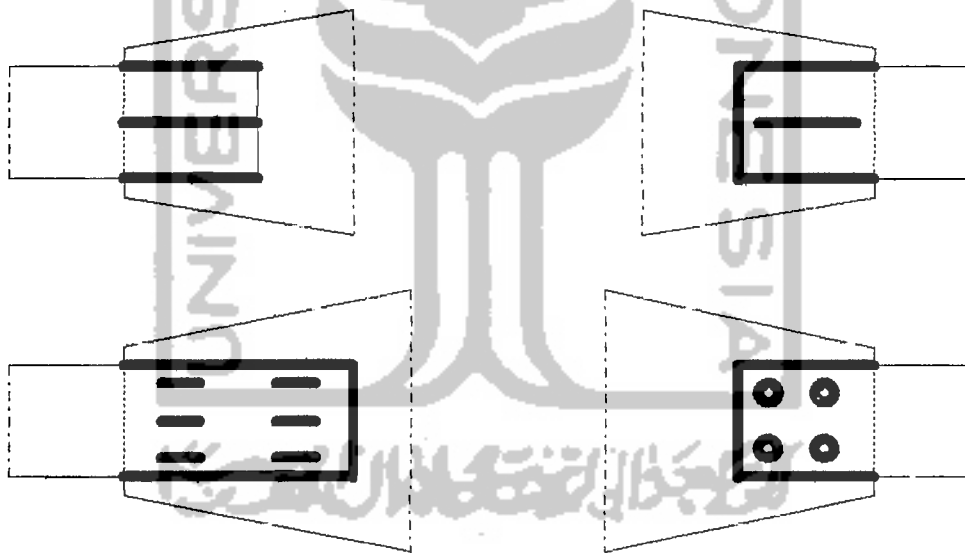


Gambar 2.4 Jenis-jenis las tumpul

2. Las baji dan pasak, las ini bermanfaat untuk menyalurkan gaya geser pada sambungan lewatan bila ukuran sambungan las terbatas oleh panjang yang ada



untuk las sudut atau las sisi lainnya. Las baji dan pasak juga berguna untuk mencegah terjadinya tekuk pada bagian yang saling menumpang. Kekuatan las pasak dan baji dihitung berdasarkan luas pada bidang geser antara plat-plat yang disambung. Pemakaian utama las ini ialah pada sambungan lewatan. Las pasak juga kadang-kadang dipakai mengisi lubang-lubang pada sambungan, seperti sambungan siku balok ke kolom yang diberi baut pemasangan sementara agar batang berada pada posisi yang tepat ketika dilas. Gambar-gambar tentang las baji dan pasak diperlihatkan di bawah ini :



Gambar 2.5 Kombinasi las baji dan pasak dengan las susut

3. Las sudut ( "fillet weld " ), las ini secara keseluruhan bersifat ekonomis, mudah dibuat dan merupakan jenis las yang paling banyak dipakai dibandingkan jenis las dasar yang lain. Las sudut banyak memberikan keuntungan terutama apabila digunakan untuk pengelasan di lapangan, hal ini disebabkan karena tepi

potongan yang akan disambung tidak memerlukan penyiapan khusus, seperti pemiringan atau penegakan. Tegangan geser pada las sudut dihitung pada bagian seluas sama dengan perkalian panjang las dan tebal efektif, dimana tebal efektif adalah jarak terdekat dari sudut puncak ke permukaan las. Las sudut umumnya dibuat datar atau sedikit cembung dengan sudut  $45^\circ$  dan sama kaki. Untuk selanjutnya yang akan dibahas hanya yang berhubungan dengan las sudut.

### 2.5.2 Cacat pada sambungan las

Pengelasan dan prosedur pengelasan yang tidak baik menimbulkan cacat pada las. Cacat yang umumnya dijumpai adalah : peleburan tidak sempurna, porositas dan peleburan berlebihan.

1. Peleburan tidak sempurna, cacat ini terjadi karena logam dasar dan logam las yang berdekatan tidak melebur bersama secara menyeluruh. Ini dapat terjadi jika permukaan yang akan disambung tidak dibersihkan dengan baik dan terdapat kotoran, terak, oksida atau bahan lainnya. Penyebab lainnya adalah pemakaian peralatan las yang arus listriknya tidak memadai atau laju pengelasan yang terlalu cepat, sehingga logam dasar tidak mencapai titik lebur.
2. Porositas, hal ini terjadi bila rongga-rongga atau kantung-kantung gas yang kecil terperangkap selama proses pendinginan. Cacat ini timbul oleh arus listrik yang terlalu tinggi atau busur nyala yang terlalu panjang. Porositas dapat terjadi secara merata tersebar dalam las, atau dapat merupakan ronggayang besar terpusat di dasar las sudut atau dekat plat pelindung pada las tumpul.

3. Peleburan berlebihan, artinya ialah terjadinya alur pada bahan dasar yang tidak terisi penuh oleh logam las. Arus listrik dan panjang busur nyala yang berlebihan dapat membakar atau menimbulkan alur pada logam dasar. Cacat ini mudah terlihat dan dapat diperbaiki dengan memberi las tambahan.

## 2.6 Analisa Biaya

Dalam hubungannya dengan suatu produk, biaya operasional total yang diperlukan merupakan jumlah dari biaya pabrikan/produksi dan beban komersial (Matz dkk,1990). Beban komersial dapat dibagi menjadi dua, yaitu beban pemasaran serta beban administrasi. Beban pemasaran dimulai pada saat proses pabrikan selesai dan hasil produksi sudah dalam kondisi siap untuk dijual, beban ini meliputi biaya penjualan dan biaya pengiriman. Sedangkan beban administrasi meliputi biaya yang dikeluarkan untuk mengatur dan mengendalikan perusahaan/organisasi. Pada batasan masalah di BAB I, yang akan dibahas dibatasi pada masalah biaya pabrikan/produksi, sehingga untuk analisa biaya lebih lanjut, beban komersial tidak diperhitungkan.

Biaya pabrikan/produksi atau sering juga disebut biaya pabrik ("factory cost") adalah jumlah dari tiga unsur biaya, yaitu :

1. Biaya bahan baku langsung ("direct material cost"), adalah semua bahan yang merupakan bagian pokok dari barang jadi dan yang dapat dimasukkan langsung dalam kalkulasi biaya pabrikan/produksi.

2. Biaya tenaga kerja langsung ("direct labour cost"), biaya untuk ini meliputi gaji para karyawan atau upah tenaga kerja untuk membuat bahan baku langsung menjadi barang jadi.
3. Biaya "overhead" pabrik ("factory overhead cost"), biaya ini dapat didefinisikan sebagai biaya dari bahan tidak langsung ("indirect materials"), pekerja tidak ("indirect labour") langsung dan semua biaya pabrikasi lainnya yang tidak dapat dibebankan langsung ke produk tertentu. Bahan tidak langsung adalah bahan-bahan yang dibutuhkan guna menyelesaikan suatu produk, tetapi perhitungan biayanya sedemikian rumit sehingga tidak dapat dianggap sebagai bahan langsung. Bahan-bahan seperti minyak pelumas, sikat pembersih dan kain lap merupakan contoh dari bahan tidak langsung. Pekerja tidak langsung dapat didefinisikan sebagai para karyawan yang dikerahkan dan secara tidak langsung mempengaruhi pembuatan atau pembentukan barang jadi, contohnya adalah para supervisor, penjaga gudang dan pekerja lainnya yang secara tidak langsung berkaitan dengan produksi. Secara sederhana dapat dinyatakan bahwa "factory overhead cost" mencakup semua biaya pelaksanaan kecuali bahan baku langsung dan tenaga kerja langsung.